

## **ESTUDO TÉRMICO DE COMPOSITO POLIMÉRICO EM FUNÇÃO DA GRANULOMETRIA DE RESÍDUO INDUSTRIAL TERMOPLÁSTICO**

**Jacques Cousteau da Silva Borges<sup>1</sup>;**  
**Manoel Leonel de Oliveira Neto<sup>2</sup>;**  
**Ed-ek Soares Silva<sup>2</sup>;**  
**George Santos Marinho<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>IFRN – Campus João Câmara, Lab. Física-BR 406, Km 73, nº 3500 – Município de João Câmara-RN.CEP 59550-000

<sup>2</sup>IFRN, Lab. Física - Avenida Senador Salgado Filho, 1559, Tirol, Natal-RN. CEP: 59015-000

<sup>3</sup>UFRN, CT, Lab. Transferência de Calor - Caixa Postal 1524 - Campus Universitário Lagoa Nova | CEP 59072-970

**Resumo:** *O presente trabalho discute o comportamento das propriedades térmicas de compósitos poliméricos constituídos por uma matriz de poliuretano natural e cargas de diferentes resíduos da indústria do polietileno de alta densidade (PEAD). Tal polímero é parcialmente cristalino, apresentando fases amorfas e fases cristalinas, sendo o PEAD um tipo mais duro e mais resistente que os demais polietilenos, possuindo uma ampla gama de aplicações que dependem quase que exclusivamente dos processos para obtenção dos produtos finais. O processo de sopro é empregado na confecção de garrafas para remédios, detergentes e outras embalagens. Já o de extrusão produz sacolas plásticas, como as de lixo e "supermercados". Após o processo, resíduos provenientes da fabricação desses produtos são descartados diariamente, pois não são encontradas formas eficazes de aproveitamento desse material. Nesta pesquisa buscou-se utilizar esse "chão de fábrica" para agir como carga em uma matriz de poliuretano derivado do óleo da semente da mamona, sendo este um produto natural, biodegradável. As cargas de resíduos foram separadas de acordo com o processo que as originam, dessa forma têm-se o resíduo A, proveniente do processo de sopro, e o resíduo B, derivado do processo de extrusão. Corpos de prova nas proporções em massa de 10%, 20% e 30% de ambas as cargas de polietileno foram confeccionados e suas propriedades térmicas foram mediadas, sendo elas a condutividade térmica ( $k$ ), o calor específico ( $c$ ) e difusividade térmica ( $\alpha$ ). Ao acrescentar tais cargas à matriz de poliuretano de mamona, foram observados comportamentos distintos, pois o resíduo A contribuiu para uma redução na condutividade e no calor específico do material compósito. Já o resíduo B, em média 47% maior que o Resíduo A, provocou um aumento nessas mesmas propriedades, já que os espaços antes preenchidos apenas com ar no poliuretano se encontram ocupados agora com grãos de polietileno. Percebe-se então que a granulometria do resíduo de PEAD possui influência direta na melhoria das propriedades térmicas do material compósito analisado. A presente pesquisa também abre mais uma opção de reciclagem de sacolas e garrafas de polietileno após o seu uso doméstico.*

**Palavras-chave:** *Poliuretano de mamona, Polietileno, propriedades térmicas*

### **1. INTRODUÇÃO**

Na produção industrial é inevitável a produção de resíduos, provenientes dos processos de fabricação dos produtos. Por isso que a cada dia, busca-se a possibilidade de minimizar a quantidade de material descartado ou uma forma de reaproveitamento desses produtos, já que na maioria dos casos, não é possível que o resíduo retorne a algumas etapas da cadeia de produção. Isso se evidencia nos processos industriais de natureza química, onde ocorre uma série de transformações químicas da material prima, até que atinja o produto final.

Em uma industrial de plásticos para embalagens, o cenário não diferente. Tal indústria se utilizado polietileno de alta densidade (PEAD), por ser quimicamente inerte, é utilizado na confecção de frascos de remédios, garrafas para detergentes e demais produtos. Tais itens são obtidos por meio de um processo conhecido como "sopro", que forma as estruturas dos recipientes. De forma semelhante, o processo de extrusão confecciona a partir do mesmo PEAD, sacolas plásticas, que unem leveza e resistência para o transporte de compras e tantos outros itens.

Porém, em ambos os processos ocorre a formação de resíduos sólidos. Tal desperdício é minimizado ao máximo, porém não é possível de eliminá-lo. Ao fim do dia, têm-se sempre uma certa quantidade de produto descartado nos processos finais, chamado de "chão de fábrica". O presente trabalho ira empregar esse material na composição de compósito para isolamento térmico, objetivando dar um destino final para este resíduo após a retirada da fábrica.

Para minimizar ainda mais os impactos ambientais, optou-se por uma matriz de poliuretano natural, proveniente do óleo de mamona, que se mostrou um bom isolante térmico, com eficiência comparável aos isolantes comerciais mais empregados, como lã de vidro e lã de rocha.

Dessa forma, os materiais residuais foram separados a partir do processo de origem (sopro ou extrusão) e incorporados a matriz de poliuretano de natural em diferentes proporções. A seguir é feita uma discussão sobre o comportamento das propriedades térmicas desses compósitos poliméricos..

## 2. MATERIAIS

### 2.1. Poliuretano de Mamona

As resinas poliuretano (PU) foram desenvolvidas e patenteadas pelo químico Otto Bayer, em 1937, embora as reações de formação dos uretanos foram postas bem antes por WURTZ, em 1849. Sua comercialização teve início ainda nos anos 30. Na década de 40, na Alemanha e na Inglaterra foram originados os elastômeros de PU. Entretanto, durante o período da Segunda Guerra Mundial o desenvolvimento das PU foi descontinuado, mas desde 1946 o seu mercado tem apresentado um crescimento enorme. (SILVA, 2003A; SILVA, 2003B E SILVESTRE FILHO, 2001).

As resinas de poliuretano podem derivar tanto do petróleo como de óleos de origem vegetal, estes são os chamados “biomonômeros”. Estes óleos podem provir de vegetais como o milho, girassol, soja, canola, alcafofa, oliva, amendoim como também da mamona. Embora o biomonomero mais utilizado seja o poliuretano derivado do óleo de mamona, é possível encontrar trabalhos científicos com as mais diferentes matérias primas para a obtenção de um poliuretano natural. Lopes (2008) aumentou ainda mais a lista de fontes naturais para o poliuretano, ao realizar a síntese e caracterização de uma poliuretana a partir do óleo de Maracujá (*Passiflora edulis*), como também sintetizou um poliuretano a partir do pracaxi (*Pentaclethra macroloba*).

Segundo Villar (1993), o desenvolvimento dos poliuretanos derivados do óleo de mamona tiveram origem nos primeiros trabalhos sobre os poliuretanos, na década de 40. O óleo de mamona é obtido da semente da planta “*Ricinus Communis*”, muito abundante no Brasil, já que este é típica de regiões tropicais e subtropicais. O óleo é um líquido viscoso. Obtido pela compressão das sementes ou por extração com solvente.

De acordo com Silvestre Filho (2001), o óleo de mamona é uma das poucas fontes naturais que se aproxima de um composto puro, já que em torno de 90% do ácido graxo presente na composição dos triglicerídeos do óleo de mamona é o ácido ricinoléico. A grande diferença do ácido ricinoléico em relação aos demais ácidos graxos presentes na natureza é a presença em sua estrutura molecular do grupo hidroxila no carbono 12, o que torna a triglicéride do ácido ricinoléico um poliálcool natural.

Dessa forma, é possível utilizar o poliuretano derivado de fontes naturais sem muitas dificuldades. O desenvolvimento de materiais corretos de maneira ecológica e a melhor adequação dos processos tem sido uma necessidade para minimizar os problemas ambientais no Mundo. A possibilidade de se poder trabalhar com um produto proveniente de natureza renovável incentivou diversos trabalhos e pesquisas com este tipo de material. Muitos novos materiais foram desenvolvidos, tomando essa resina expansiva como matriz, para aplicações de natureza mecânica como também em isolamento térmico de sistemas.

Trabalhos anteriores destacam a eficiência do poliuretano de mamona em sistemas de isolamento térmico, mostrando que esse isolante biodegradável pode ser utilizado como isolante térmico com eficiência comparável aos isolantes térmicos convencionais (BORGES, 2008).

### 2.2. Polietileno

O Polietileno (PE), apresenta uma das estruturas mais simples de todos os polímeros. É um material termoplástico, parcialmente cristalino, flexível, cujas propriedades são acentuadamente influenciadas pela quantidade relativa das fases amorfa e cristalina. Este polímero é inerte face à maioria dos produtos químicos comuns devido à sua natureza, seu alto peso molecular e sua estrutura.

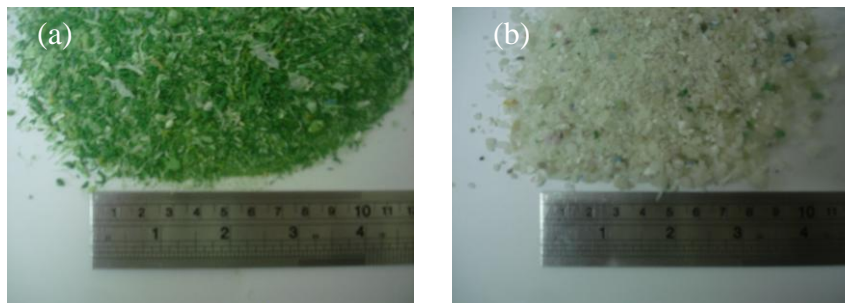
Apesar de a composição química manter-se constante, o polietileno pode apresentar diferenças nas suas propriedades físicas e químicas devido às condições de polimerização, densidade, e outras, o que originou a vários tipos de polietileno, sendo a diferença mais marcante aquela regulamentada ao tipo e grau de ramificação. Os diversos tipos de estrutura do polietileno dependem do método pelo qual o polímero foi obtido. De acordo com Oliveira (2007) Os três mais importantes comercialmente são:

- Polietileno de baixa densidade (PEBD);
- Polietileno linear de baixa densidade (PELBD).
- Polietileno de alta densidade (PEAD);

Sendo este último, objeto de pesquisa deste trabalho. O PEAD apresenta uma proporção maior de fase cristalina em relação a fase amorfa, sendo mais duro e mais resistente que os demais polietilenos, possuindo uma ampla gama de aplicações que dependem quase que exclusivamente dos processos para obtenção dos produtos finais. Por exemplo, o processo de sopro é empregado na confecção de garrafas para remédios, detergentes e outras embalagens. Já o de extrusão produz sacolas plásticas, como as de lixo e “supermercados”.

### 3. METODOLOGIA

Após o processo, resíduos provenientes da fabricação desses produtos são descartados diariamente, pois não são encontradas formas eficazes de aproveitamento desse material. Nesta pesquisa buscou-se utilizar esse “chão de fábrica” para agir como carga em uma matriz de poliuretano derivado do óleo da semente da mamona, sendo este um produto natural, biodegradável. As cargas de resíduos foram separadas de acordo com o processo que as originam, dessa forma tem-se o resíduo A, proveniente do processo de sobre, e o resíduo B, derivado do processo de extrusão.



**Figura 1. Resíduos da indústria do polietileno provenientes de processos de (a) sobre e (b) extrusão**

Esses resíduos foram tomados proporções em massa de 10%, 20% e 30% de ambas as cargas de polietileno, para compor uma matriz de poliuretano de mamona, com a intenção de confeccionar os corpos de prova para a medição de propriedades térmicas.

A matriz é constituída de uma resina expansiva, composta de dois componentes distintos. Têm-se o componente A e o componente B, sendo o componente A um pré-polímero constituído de ácidos ricinolécicos e o componente B um isocianato



**Figura 2. Pré-polímero (componente A) e isocianato (componente B)**

A reação ocorre na proporção em massa de 1:2. Ao reagir, o isocianato liga-se aos grupos hidroxilas do componente A, liberando CO<sub>2</sub> no processo. Essa liberação gasosa promove a expansão de resina, que aumenta o seu volume em vinte vezes, em relação ao volume inicial da mistura dos componentes. Dessa forma, a mistura para os compósitos foram realizadas seguindo os dados mostrados na tabela 1, mantendo constante a massa final do material.

**Tabela 1. Valores das massas dos componentes do compósito**

Material	Component A	Component B	Polyethylene	Total Weight
Matrix	30,0 g	60,0 g	---	90 g
10% loading	27,0 g	54,0 g	9,00 g	90 g
15% loading	25,5 g	51,0 g	13,5 g	90 g
20% loading	24,0 g	48,0 g	18,0 g	90 g

Os ensaios para determinação de propriedades térmicas dos materiais (condutividade, difusividade e capacidade calorífica) foram realizados no Laboratório do GGEMMA – Grupo de Pesquisa em Geologia Marinha e Monitoramento Ambiental da UFRN, por meio do equipamento Quick-line 30 (Anter Thermal Properties Corp.).

Foram confeccionados corpos de prova específicos para a medição dessas propriedades, em formato cilíndrico (h= 18 cm,  $\phi$  = 8cm), onde foi inserida uma sonda em forma de uma agulha. As medições de cada propriedade foram repetidas três vezes.



Figura 3. Equipamento de medição de propriedades térmicas

#### 4. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Tabela 2. Resultados obtidos nas medições de propriedades térmicas

Material		k (W/m°C)	c (j/m <sup>3</sup> .°C)	ρ (Kg/m <sup>3</sup> )
RPS	30%	0.0338	0.1087	78.34
	20%	0.0365	0.1147	79.20
	10%	0.0385	0.1203	85.00
<b>Matriz</b>		<b>0.0406</b>	<b>0.112</b>	80.00
RPE	10%	0.0408	0.1223	90.45
	20%	0.0412	0.1343	101.33
	30%	0.0422	0.1540	103.97

Na análise dos resultados apresentados na tabela 2 observa-se que a adição de tais cargas à matriz de poliuretano de mamona promova comportamentos distintos. Os corpos de prova fabricados com o resíduo RPS apresentaram uma redução na condutividade térmica e no calor específico do compósito, ao passo que aqueles fabricados com o resíduo RPE, de granulometria em média 47% maior, apresentaram um aumento nessas mesmas propriedades. Acredita-se que a alteração nessas propriedades deva-se a ocupação de uma parcela do espaço antes preenchida apenas com ar no poliuretano, pelos grãos de polietileno. Esta constatação pode ser corroborada pelos valores de densidade obtidos para o referido compósito, onde se constata que os corpos de prova de menor densidade foram os que apresentaram menores propriedades térmicas.

Apesar de o presente trabalho representar a fase inicial da pesquisa, os resultados obtidos permitem se chegar as seguintes conclusões:

- O comportamento das propriedades térmicas do compósito evidencia a sua aplicação em isolamento térmica;
- As diferenças apresentadas mostram a influência da granulometria dos resíduos analisados nas propriedades térmicas dos compósitos;
- A presente pesquisa também abre mais uma opção de reciclagem de sacolas e garrafas de polietileno após o seu uso doméstico, contribuindo com a preservação de um ambiente sustentável.

#### 5. REFERÊNCIAS

- BORGES, J.C.S., OLIVEIRA NETO, M. L., MARINHO, G. S. Análise de desempenho térmico de poliuretanas aplicadas ao isolamento térmico de coberturas. in: II Congresso Brasileiro de Energia Solar e III Conferência Regional Latino-Americana da ISES, Florianópolis-SC, 2008.
- COUTINHO, F. M. B. et al.. Polietileno: Principais tipos, propriedades e aplicações. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 13, n° 1, p. 1-13, 2003
- LOPES, R. V. V, et al, Síntese e caracterização de poliuretana a partir do óleo de maracujá (*Passiflora edulis*) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 18. Porto de Galinhas-PE, 2008. p. 10078-10087.
- OLIVEIRA, Iara Thais Dias de. Avaliação mecânica de compósitos de polietileno de alta densidade (PEAD) e vermiculita. 2007. 72f. – Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Polímeros) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.
- SILVA, Rosana Vilarim. Compósito de resina Poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais. São Carlos, 2003, 157f. Tese (Doutorado). Área Interunidades em Ciências e Engenharia de Materiais, USP, São Carlos, 2003.
- SILVESTRE FILHO, G.D. Comportamento mecânico do poliuretano derivado de óleo mamona reforçado por fibra de carbono: contribuição para o projeto de hastes de implante de quadril. 2001. 136f. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2001.
- VILAR, Walter D. Química e tecnologia das poliuretanas. Capítulo I; p. 60. Capítulo VII; p. 58. Capítulo VIII; p.30. Vilar Consultoria; 3a Edição atualizada, p.360. Rio de Janeiro; 2002.



## **THERMAL STUDY POLYMERIC COMPOSITES WITH PARTICLE SIZE THERMOPLASTIC OF INDUSTRIAL WASTE**

**Jacques Cousteau da Silva Borges<sup>1</sup>;**  
**Manoel Leonel de Oliveira Neto<sup>2</sup>;**  
**Ed-ek Soares Silva<sup>2</sup>;**  
**George Santos Marinho<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> IFRN – Campus João Câmara, Lab. Física-BR 406, Km 73, nº 3500 –João Câmara-RN-Brazil.CEP 59550-000

<sup>2</sup>IFRN, Lab. Física - Avenida Senador Salgado Filho, 1559, Tirol, Natal-RN-Brazil. CEP: 59015-000

<sup>3</sup>UFRN, CT, Lab. Transferência de Calor - Caixa Postal 1524 - Campus Universitário Lagoa Nova. CEP 59072-970

**Abstract.** *This paper discusses the behavior of the thermal properties of polymer composites consisting of a matrix of natural polyurethane and loads of different industrial waste of high-density polyethylene (HDPE). This polymer presents amorphous phases and crystalline phases, and is harder and more resistant than other polyethylenes. These features give the HDPE a range of applications that depend almost exclusively on procedures for obtaining final products. The process of blowing is used to produce bottles for medicines, detergents and other packaging, while the extrusion process produces plastic bags such as garbage bags and of supermarket. The search for an appropriate destination of the waste produced daily by industries researchers requires actions that contribute to social development and technologic focusing the preservation of a sustainable environment. In this research was used this "ground of manufactures" to act as filler in a matrix of polyurethane derived from the castor oil. The loads of waste were separated according with the manufacturing process. Thus, there is the A residue from the process of blowing, and the residue B, particle size 47% larger on average, derived from the extrusion process. For measurement of thermal conductivity ( $\kappa$ ), thermal diffusivity ( $\alpha$ ) and specific heat ( $c$ ), sample were produced in mass proportions of 10%, 20% and 30% of both loads of polyethylene. The influence of particle size on thermal properties of the composite can be observed when the analysis of results showed that A residue presented a reduction in conductivity and specific heat of the composite, while an opposite behavior was observed in the composite where residue B was used. Results may to conclude that the reduction in thermal properties in the composite showed that with higher concentration of charge.*

**Keywords:** Polyurethane from castor oil, polyethylene, thermal properties